金针菇菌渣对山羊饲粮养分表观消化率及氮平衡的影响

孟梅娟　高立鹏　白云峰*　刘　萍　严少华　宋　谦

（江苏省农业科学院动物科学基地，江苏　南京　210014）

摘　要：本试验旨在研究不同金针菇菌渣添加比例对山羊饲粮养分表观消化率及氮平衡的影响。选用 4 只体重为（22.5±0.6） kg 的波尔山羊×徐淮山羊（波杂山羊），采用 4×4 拉丁方设计，金针菇菌渣在饲粮中的添加比例分别为 0（对照）、15%、25%和 40%，用于替代稻草，4 组饲粮营养水平接近；试验分为 4 期，每期 15 d，其中预试期 10 d，正试期 5 d。结果表明：1）与对照组比较，饲粮金针菇菌渣添加比例为 15%、25%和 40%对山羊的钙、磷表观消化率无显著影响（P>0.05），能够显著提高干物质、有机物、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维以及总能表观消化率（P<0.05），且这些指标随金针菇菌渣比例的升高逐渐降低。2）与对照组比较，饲粮金针菇菌渣添加比例为 15%、25%和 40%显著提高了山羊氮沉积率以及氮生物学价值（P<0.05），且这 2 个指标随金针菇菌渣比例的升高逐渐降低。结果提示，在饲粮中添加金针菇菌渣可以提高山羊对营养物质消化率;在本试验条件下，金针菇菌渣在山羊饲粮中的最适宜添加比例为 15%~25%。

关键词：山羊；金针菇菌渣；消化；代谢

中图分类号：S826

我国是食用菌生产大国，在集约化发展食用菌产业的同时，也产生了大量的食用菌下脚料——菌渣。据悉，2014 年，国内食用菌产量达 2 134 万 t，总产值达 800 多亿元，占世界总产量的 80%以上[1]。菌渣因其具有价格低廉、来源广泛和营养丰富的优点，而越来越受到人们的青睐。并且菌渣中的菌丝体，含有丰富的必需氨基酸，因此菌渣经过一定的加工处理可以很好地应用到动物饲料中[2]。饲料资源日趋紧张已成为制约中国养羊生产的重要因素。因此积极开发利用菌渣类非常规饲料资源已迫在眉睫。研究表明，将菌渣添加到肉鹅[3]、猪[4-5]、兔[6]和鸡[7]饲料中可提高养殖经济效益。有报道用金针菇菌渣饲喂肉牛[8]和肉羊[9]，在降低饲料成本的同时，提高了其生长性能。但金针菇菌渣在山羊养分表观消化率方面的研究相对较少。仅林萌萌等[10]用菌渣替代饲粮精饲料，研究不同比例菌渣对育肥牛养分表观消

收稿日期：2016-03-09

基金项目：江苏省农业自主创新基金 cx（15）1003-11；公益性（农业）行业科研专项 201203050-4

作者简介：孟梅娟（1989-），女，河北石家庄人，硕士研究生，从事家畜营养生态学研究。E-mail: jsmengmeijuan@163.com

*通信作者：白云峰，研究员，博士生导师，E-mail: blinkeye@126.com

化率的影响，结果表明在饲粮中添加菌渣可以提高育肥牛饲料养分表观消化率，其中 23％添加组效果最为明显。因此利用菌渣做动物饲料，不但可以解决目前饲料资源匮乏的现状，还可以降低饲料成本、促进菌渣的循环利用[11-13]。因此，本试验以波尔山羊×徐淮山羊（波杂山羊）为研究对象，用金针菇菌渣替代山羊饲粮中的稻草，研究其对山羊养分表观消化率及氮平衡的影响，以期为开发山羊菌渣饲料、缓解饲料资源不足、降低饲料成本、提高养殖经济效益提供理论基础。

1　材料与方法

1.1　试验时间与地点

本试验在江苏省农科院试验羊场进行，2015 年 11 月 1 日开始，2015 年 12 月 30 日结束。

1.2　试验动物选择及试验设计

试验选择 4 只体况良好、体重为（22.5±0.6） kg 的波杂山羊为研究对象。采用 4×4 拉丁方设计，金针菇菌渣在饲粮中的添加比例分别为 0（对照，A）、15%(B)、25%(C)和 40%(D)，用于替代稻草，4 组饲粮营养水平接近；共分 4 个试验期，每期 15 d，前 10 d 为预试期，后 5 d 为正试期，预试期和正试期定量饲喂相应饲粮，正试期收集粪样和尿样。

1.3　金针菇菌渣的收集

将由玉米芯、米糠、棉籽壳、甜菜渣、麦麸、玉米粉、大豆皮、贝壳粉等栽培原料发酵后的金针菇收获后，挑选菌丝白、无污染的菌菇棒，去掉外层塑料袋，用手将菌糟掰成小块，放于铺有塑料布的水泥平台上晾晒，取无黄曲霉毒素污染的金针菇菌渣作为供试材料。金针菇菌渣和稻草营养成分见表 1。

表 1　金针菇菌渣和稻草的营养成分（干物质基础）

Table 1　Nutrition composition of *Enoki mushroom* residues and straw (DM basis)　　%

名称 Items	干物质 DM	粗蛋白质 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	粗灰分 Ash
金针菇菌渣 *Enoki mushroom* residues	94.41	12.91	55.03	34.28	9.94
稻草 Straw	90.04	5.04	67.53	41.67	12.61

1.4　试验饲粮及饲养管理

参考 NRC（1981）[14]山羊营养需要配制试验饲粮。试验饲粮组成及营养水平见表 1。试验羊单栏饲养，在试验前 1 周，4 只羊自由采食，并摸索各只羊的采食量，将所有羊最低日采食量做为试验期每日固定给料量，以确保试验中所有羊均能采食完，并记录日采食量。

每日分别在 08:00 和 18:00 分 2 次等量饲喂，自由饮水。

表 2　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　　%

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
原料 Ingredients				
玉米 Maize	28.07	28.50	28.34	28.19
豆粕 Soybean meal	8.90	7.26	5.80	4.30
麦麸 Wheat bran	8.80	8.00	8.80	7.49
小麦 Wheat	3.30	3.50	4.34	5.90
金针菇菌渣 *Enoki mushroom* residues		15.00	25.00	40.00
稻草 Straw	48.00	34.92	25.00	11.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.24	1.10	1.02	0.91
石粉 Limestone	0.69	0.72	0.70	0.71
预混料 Premix[1)]	0.50	0.50	0.50	0.50
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00.
营养水平 Nutrient levels[2)]				
粗蛋白质 CP	10.99	11.05	11.16	11.30
中性洗涤纤维 NDF	36.98	36.92	36.58	36.24
消化能 DE/(MJ/kg)	10.84	10.52	10.35	10.07
钙 Ca	0.65	0.65	0.65	0.65
磷 P	0.40	0.40	0.40	0.40

[1)] 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diet:VA 4 000 IU，VD_3 400 IU，VE 20 000 IU，硫酸亚铁 $FeSO_4$ 69.03 mg，硫酸铜 $CuSO_4$ 17.6 mg，硫酸钾 K_2SO_4 31.70 mg，硫酸锌 $ZnSO_4$ 57.14 mg，硫酸锰 $MnSO_4$ 44.03 mg，氯化钴 $CoCl_2$ 0.25 mg，亚硒酸钠 Na_2SeO_3 8.95 mg，莫能菌素 monensin 6.00 mg，碳酸氢钠 $NaHCO_3$ 740.91 mg。

[2)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.5　样品采集及预处理

饲粮按四分法收集饲料样于-20 ℃冰箱中，保存待测。

试验动物粪、尿由专用消化代谢笼的收粪盘、收尿桶收集。在正试期每天的 16:00 和次日 08:00 由专用消化代谢笼的收粪盘和收尿桶收取，计为前 1 天的排粪量，对粪样混合、称重，每日按鲜粪重 10%取样，加 10%盐酸固氮（每 100 g 样品加 10%盐酸，10 mL），在 75 ℃烘箱中烘至恒重，室温下回潮 24 h，称重记并录，粉碎过 40 目筛，用密封袋保存于-20 ℃待测。按每天收集尿量总体积的 10%采集尿样滴加少许浓硫酸固氮，5 d 后，将收集的尿样摇匀、纱布过滤，取样置于塑料瓶中，-20 ℃冰柜中保存待测。

1.6 样品测定

参照《饲料分析及饲料质量检测技术》[15]测定饲粮和粪样中的干物质（DM）、粗灰分（ash）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）含量和氮总能（GE）以及尿样中的氮含量。

采用 GB/T 6437-2002 钒钼黄比色法测定饲粮和粪样中的总磷，采用 GB/T 13885-2003 乙炔-空气火焰原子吸收光谱法测定饲粮和粪样中的钙，测定仪器为上海光谱 SP-3803AA。

样品采用微波消解的方法，准确称取样品 0.2 g 于顶空瓶中，加入 8 mL 硝酸和 2 mL 双氧水，用微波消解仪 XT-9912 消解 40 min，具体参数设置如表 2。待冷却后在 100 ℃浓缩（消除酸）至液体体积小于 2 mL，然后定容至 50 mL 容量瓶。

表 3 微波消解仪参数设置

Table 3 The setting of microwave digestion equipment

步骤 Steps	压力 Pressure/Pa	温度 Temperature/℃	功率 Power/kW	持续时间 Duration time/min
1	5	80	1.8	2
2	10	100	2	2
3	20	150	2	2
4	30	180	2	2
5	40	180	2	10
6	45	220	2	3
7	45	220	2	10
8	45	220	2	10

1.7 测定指标及数据计算公式

营养水平的测定参照杨胜[16]的方法进行。

表观消化率（%）=[（摄入量-粪中排出量）/摄入量]×100；

氮沉积率（%）=[（氮摄入量-粪氮-尿氮）/氮摄入量]×100；

氮生物学价值（%）=[氮沉积/（氮摄入量-粪氮）]×100。

1.8 统计分析

利用 SAS 8.0 统计软件中的 one-way ANOVA 程序进行单因素方差分析，多重比较采用 Duncan 氏法。P<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 金针菇菌渣对山羊干物质表观消化率的影响

由表 4 可知，4 组饲粮的干物质摄入量差异显著（P<0.05），饲粮 B 的干物质摄入量显

著高于其他 3 组饲粮（P<0.05）；饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 的干物质排出量显著低于饲粮 A（P<0.05），饲粮 C 和饲粮 D 的干物质排出量差异不显著（P>0.05），但显著低于饲粮 B（P<0.05）；饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 的干物质表观消化率差异不显著（P>0.05），但显著高于饲粮 A（P<0.05）。

表 4　金针菇菌渣对山羊干物质表观消化率的影响

Table 4　Effects of *Enoki mushroom* residues on DM apparent digestibility of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
摄入量 Intake/(g/d)	604.80±0.00^{b}	618.80±0.00^{a}	599.90±0.00^{c}	577.50±0.00^{d}
排出量 Output/(g/d)	269.41±4.37^{a}	249.67±7.43^{b}	223.64±7.66^{c}	215.17±10.85^{c}
表观消化率 Apparent digestibility/%	56.66±2.17^{b}	61.32±3.07^{a}	61.19±2.87^{a}	60.99±3.45^{a}

同行数据肩标相同或无小写字母表示差异不显著（P>0.05），不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

In the same row, values with the same or no small letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2　金针菇菌渣对山羊有机物表观消化率的影响

由表 5 可知，4 组饲粮的有机物摄入量差异显著（P<0.05），饲粮 B 的有机物摄入量显著高于其他 3 组饲粮（P<0.05）；饲粮 A 的有机物排出量显著高于其他 3 组饲粮（P<0.05），饲粮 B 与饲粮 C、饲粮 D 差异不显著（P>0.05）；饲粮 B 的有机物表观消化率显著高于饲粮 A（P<0.05），与饲粮 C、饲粮 D 差异不显著（P>0.05）。

表 5　金针菇菌渣对山羊有机物表观消化率的影响

Table 5　Effects of *Enoki mushroom* residues on OM apparent digestibility of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
摄入量 Intake/(g/d)	530.35±0.00^{c}	552.60±0.00^{a}	532.66±0.00^{b}	513.09±0.00^{d}
排出量 Output/(g/d)	178.54±5.95^{a}	159.97±8.20^{b}	149.68±10.56^{b}	149.52±9.43^{b}
表观消化率 Apparent digestibility/%	67.26±1.87^{b}	72.96±3.55^{a}	71.90±1.98^{a}	69.61±2.96^{ab}

2.3　金针菇菌渣对山羊中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维表观消化率的影响

由表 6 可知，4 组饲粮中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的摄入量差异显著（P<0.05），饲粮 A 的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维的摄入量显著高于饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D（P<0.05），但 4 组饲粮的中性洗涤纤维的摄入量在数值上相差不大；4 组饲粮的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维排出量差异不显著（P>0.05）；饲粮 D 的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维表观消化率与

饲粮 A 差异不显著（*P*>0.05），饲粮 B 与饲粮 C 的中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维表观消化率差异不显著（*P*<0.05），但显著高于饲粮 A（*P*<0.05）。

表 6　金针菇菌渣对山羊中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维表观消化率的影响

Table 6　Effects of *Enoki mushroom* residues on NDF and ADF apparent digestibility of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
中性洗涤纤维 NDF				
摄入量 Intake/(g/d)	255.21±0.00^{a}	254.15±0.00^{c}	253.89±0.00^{d}	254.97±0.00^{b}
排出量 Output/(g/d)	114.59±11.67	105.02±5.47	105.78±4.13	113.66±7.76
表观消化率 Apparent digestibility/%	55.10±4.57^{b}	58.68±2.15^{a}	58.34±1.63^{a}	55.42±3.04^{b}
酸性洗涤纤维 ADF				
摄入量 Intake/(g/d)	135.84±0.00^{a}	131.99±0.00^{c}	132.41±0.00^{b}	123.46±0.00^{d}
排出量 Output/(g/d)	66.66±7.76	60.11±2.00	60.57±3.01	60.92±3.95
表观消化率 Apparent digestibility/%	50.93±5.72^{b}	54.45±1.52^{a}	54.25±2.28^{a}	50.66±3.20^{b}

2.4　金针菇菌渣对山羊矿物质表观消化率的影响

由表 7 可知，饲粮 A 的钙摄入量显著高于饲粮 B 和饲粮 C（*P*<0.05），与饲粮 D 差异不显著（*P*>0.05）；饲粮 D 的钙排出量显著高于其他 3 组饲粮（*P*<0.05），饲粮 A 与饲粮 C 的钙排出量差异不显著（*P*>0.05），但显著高于饲粮 B（*P*<0.05）；4 组饲粮的钙观消化率差异不显著（*P*>0.05），但饲粮 C 的钙观消化率有高于其他 3 组饲粮的趋势。4 组饲粮的磷摄入量差异显著（*P*<0.05），饲粮 D 的磷摄入量显著高于其 3 组饲粮（*P*<0.05）；饲粮 C 和饲粮 D 的磷排出量差异不显著（*P*>0.05），但显著高于饲粮 A 和饲粮 B（*P*<0.05），饲粮 B 的磷排出量显著高于饲粮 A（*P*<0.05）；4 组饲粮的磷表观消化率差异不显著（*P*>0.05），但饲粮 B 和饲粮 C 的磷表观消化率在数值上有高于饲粮 A、饲粮 D 的趋势。

表 7　金针菇菌渣对山羊钙、磷表观消化率的影响

Table 7　Effects of *Enoki mushroom* residues on Ca and P apparent digestibility of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
钙 Ca				
摄入量 Intake/(g/d)	4.75±0.00^{a}	4.00±0.00^{d}	4.85±0.00^{b}	5.80±0.00^{a}
排出量 Output/(g/d)	2.25±0.09^{b}	1.89±0.05^{c}	2.19±0.07^{b}	2.74±0.17^{a}
表观消化率 Apparent digestibility/%	52.69±1.72	52.79±1.17	54.80±1.24	52.76±1.91
磷 P				
摄入量 Intake/(g/d)	4.44±0.00^{d}	4.96±0.00^{c}	5.39±0.00^{b}	5.46±0.00^{a}
排出量 Output/(g/d)	2.55±0.12^{c}	2.79±0.13^{b}	2.99±0.09^{a}	3.13±0.06^{a}
表观消化率 Apparent digestibility/%	42.68±2.43	43.74±2.34	44.63±1.40	42.73±0.97

2.5　金针菇菌渣对山羊总能表观消化率的影响

由表 8 可知，4 组饲粮的总能摄入量差异显著（*P*<0.05），饲粮 B 的总能摄入量显著高于其他 3 组饲粮（*P*<0.05）；4 组饲粮的粪能差异不显著（*P*>0.05）；饲粮 C 的总能表观消化率显著高于饲粮 A（*P*<0.05），而与饲粮 B、饲粮 D 差异不显著（*P*>0.05）。

表 8　金针菇菌渣对山羊总能表观消化率的影响

Table 8　Effects of *Enoki mushroom* residues on GE apparent digestibility of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
总能摄入量 GE intake/(kJ/d)	11.11±0.00^{d}	11.48±0.00^{a}	11.29±0.00^{c}	11.31±0.00^{b}
粪能 FE/(kJ/d)	4.49±0.23	4.03±0.32	4.05±0.34	4.16±0.37
总能表观消化率 GE apparent digestibility/%	59.60±2.09^{b}	64.85±2.79^{a}	64.13±2.99^{a}	63.27±3.24^{ab}

2.6　金针菇菌渣对山羊氮平衡的影响

由表 9 可知，4 组饲粮的氮摄入量差异显著（*P*<0.05），饲粮 C 显著高于其他 3 组饲粮（*P*<0.05）；4 组饲粮的粪氮排出量差异不显著（*P*>0.05）；饲粮 A 的尿氮排出量显著高于饲粮 D（*P*<0.05），与饲粮 B 和饲粮 C 差异不显著（*P*>0.05），饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 的尿氮排出量差异不显著（*P*>0.05）；饲粮 B 和饲粮 C 的氮沉积差异不显著（*P*>0.05），但显著高于饲粮 A 和饲粮 D（*P*<0.05），饲粮 A 显著低于饲粮 D（*P*>0.05）；饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 的氮沉积率和氮生物学价值显著高于饲粮 A（*P*<0.05），饲粮 B、饲粮 C 和饲粮 D 差异不显著（*P*>0.05），但饲粮 B 和饲粮 C 的氮沉积率和氮生物学价值在数值上有高于饲粮 D 的趋势。

表 9　金针菇菌渣对山羊氮平衡的影响

Table 9　Effects of *Enoki mushroom* residues on nitrogen balance of goats

项目 Items	饲粮 Diets			
	A	B	C	D
氮摄入量 Intake N/(g/d)	13.14±0.00^{c}	14.12±0.00^{b}	14.23±0.00^{a}	12.98±0.00^{d}
粪氮 Fecal N/(g/d)	4.70±0.20	4.68±0.36	4.80±0.22	4.65±0.18
尿氮 Urine N/(g/d)	4.60±0.38^{a}	4.25±0.41^{ab}	4.25±0.19^{ab}	3.95±0.20^{b}
氮沉积 N retention/(g/d)	3.84±0.41^{c}	5.20±0.31^{a}	5.18±0.10^{a}	4.38±0.14^{b}
氮沉积率 N retention rate/%	29.21±3.10^{b}	36.80±2.20^{a}	36.40±0.73^{a}	33.74±1.08^{a}
氮生物学价值 NBV/%	45.49±4.47^{b}	55.07±3.48^{a}	54.94±1.15^{a}	52.59±1.74^{a}

3　讨　论

3.1　不同金针菇菌渣添加比例对山羊营养物质表观消化率的影响

干物质和有机物的表观消化率可以反映动物对某饲粮的消化特性[17]，饲粮中粗饲料不同，其在家畜瘤胃中的降解程度不同[18-20]。中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率可以

反映反刍动物对饲粮纤维素的利用能力[21]。菌渣通过食用菌的生物固氮作用、酶解作用等一系列生物转化过程，原料中的纤维素、半纤维素和木质素等被不同程度降解，同时还产生多种糖类、有机酸和活性物质，这样不仅增加了基质中有效营养成分的含量，而且提高了纤维物质的消化利用[22]。林萌萌等[错误!未定义书签。0]研究表明，饲粮中添加菌渣可以提高饲料养分表观消化率，对干物质表观消化率影响不显著，对中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维表观消化率影响显著，并随添加比例的增加呈先升高后降低的趋势，其中 23%添加组效果最为明显。本试验中，当金针菇菌渣在饲粮中添加比例为 15%、25%、40%时，饲粮中各营养物质表观消化率均高于对照组饲粮，这说明在饲粮中添加金针菇菌渣可提高饲粮中营养物质表观消化率。这可能是因为菌渣中含有的生物活性物质可能会改善瘤胃发酵，从而促进了粗纤维在瘤胃中的消化，从而提高了营养物质的表观消化率。本试验中，添加 15%金针菇菌渣的饲粮干物质、有机物、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率均最高，且随着金针菇菌渣添加比例的继续增加，各营养物质表观消化率逐渐降低。这可能是由于金针菇菌渣中的稻壳含量逐渐的积累，降低了食糜在消化道内的停留时间，增加了流通速度，使养分不能充分消化和吸收，从而降低了营养物质的消化率。

反刍动物钙、磷排出的途径主要是通过肝肠循环随粪排出，随尿排出的相对比较少。因此本试验只测定了饲料和粪便中钙、磷的含量，来研究其表观消化率。钙、磷对反刍动物具有重要的作用，它通过维持瘤胃内微生物的活性，进而影响瘤胃对饲粮的消化能力[24]。研究表明，当瘤胃内磷含量低于正常水平，瘤胃内微生物生长受阻，生长速度下降，从而降低了动物对饲粮中纤维物质的消化率[25]。Durand 等[26]在奶牛磷的体外试验中发现，磷不仅能促进瘤胃微生物的活动，还能改变瘤胃内环境，促进粗纤维的消化。在本试验中，在饲粮中添加金针菇菌渣，均能提高钙磷的表观消化率。这可能是由于稻草中含有大量的草酸与钙形成不溶性的草酸钙，降低了钙的消化率。随着饲粮金针菇菌渣添加比例的增加，钙、磷表观消化率先升高后降低，其中 25%添加组的钙、磷表观消化率最高，40%添加组开始出现下降趋势，因此，山羊饲粮中金针菇菌渣的添加比例应适宜，不能过量添加金针菇菌渣。在本试验条件下，金针菇菌渣添加水平在 40%以内时对山羊的钙、磷表观消化率并无不利影响。

3.2 不同金针菇菌渣添加比例对山羊总能表观消化率的影响

粗饲料中的粗纤维对胃肠道的蠕动有促进作用，利于粪便的排出。本试验中，15%添加

组粪能排出量最低，随着金针菇菌渣添加比例的增加，粪能排出量逐渐增加，但仍低于对照组饲粮。这说明在饲粮中添加金针菇菌渣，可降低粪能的排出量，进而提高总能表观消化率。在总能摄入量基本一致的情况下，随着金针菇菌渣添加比例的增加，粪能排出量增加，则饲粮总能消化率逐渐降低。原因可能是由于金针菇菌渣中粗灰分含量较高，随着金针菇菌渣添加比例的增加，饲粮中粗灰分含量逐渐增大，金针菇菌渣含有 7%的棉籽壳，随着金针菇菌渣添加比例的增加，饲粮中棉籽壳所占有的比例逐渐增大，这一方面影响其他营养物质的消化吸收，另一方面大量的棉籽壳刺激瘤胃蠕动，增加了食糜的流通速度，食糜中能量没有充分吸收便被排出，进而降低了总能的表观消化率[23]。这说明在饲粮中金针菇菌渣应适量添加，否则会降低饲粮的总能表观消化率。在本试验的研究背景下，在饲粮中添加金针菇菌渣（15%、25%、40%）均未对饲粮的总能表观消化率产生不利的影响。

3.3 不同金针菇菌渣添加比例对山羊氮平衡的影响

蛋白质是动物机体的三大重要营养素之一，在动物生命活动中具有重要的作用[27]。氮沉积率可以反映动物机体对饲粮中蛋白质利用程度，衡量饲粮粗蛋白质的优劣程度，还可准确地表示蛋白质在动物体被消化、吸收水平[28]。本试验结果表明，在氮摄入量基本一致的情况下，添加金针菇菌渣后，对粪氮排出量基本没有影响，但是降低了尿氮排出量，导致氮沉积率和氮生物学价值高于对照组饲粮。这可能是由于饲粮中添加金针菇菌渣，改变了饲粮中碳水化合物结构，进而提高了氮的利用率[29]。随着金针菇菌渣添加比例的增加，当比例超过 15%时，试验羊的氮沉积率和氮生物学价值呈下降趋势。这可能是因为反刍动物对氮的利用率与饲粮氮的瘤胃降解特性及饲粮提供的微生物可利用能有关。当饲粮提供的微生物可利用能与氮的降解不偶联时，导致饲粮降解氮的利用效率下降[30]。金针菇菌渣的蛋白质瘤胃降解率较高，但是金针菇菌渣作为粗饲料所能提供的瘤胃微生物可利用底物少，随着添加比例增加而可能导致了瘤胃降解氮的转化效率下降，最终使饲粮氮利用效率下降。由此可见，在特定的饲粮条件下，金针菇菌渣与稻草的搭配比例是有一定适宜范围的，超过或者低于这个特定范围时，2 种饲料之间就会表现出组合的负效应，进而降低饲粮氮的代谢率。

4 结　论

① 饲粮中添加一定量的金针菇菌渣未对山羊养分表观消化率产生不利影响，反而能够提高山羊有机物、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、总能的表观消化率以及氮沉积和氮生物学

价值。

② 在本试验条件下，金针菇菌渣在饲粮中的适宜添加比例为 15%~25%。

参考文献：

[1] 戴和珍.食用菌菌渣利用研究现状[J].农业开发与装备,2015(11):57.

[2] 仇丽.枯草芽孢杆菌在养殖中的应用[J].渔业现代化,2002(4):26.

[3] 胡连江,王占哲,赵殿忱,等.菌糠混合料喂饲肉鹅试验研究[J].黑龙江农业科学,2007(6):67–68.

[4] 叶红英,张宗庆,肖明举,等.菌糠饲料饲喂可乐育肥猪的试验[J].饲料研究,2011(3):81–82.

[5] 王占哲,胡连江,赵殿忱,等.菌糠混合料饲喂育肥猪试验研究[J].黑龙江农业科学,2010(2):82–83.

[6] 王利民,王文志,孙海涛,等.金针菇菌渣代替麸皮对肉兔生产性能的影响[J].山东农业科学,2014,46(5):113–114,117.

[7] 盛清凯,赵红波,宫志远,等.菌渣发酵床对雏鸡生产性能的影响[J].山东农业科学,2011(4):100–102.

[8] 姜殿文,宫志远,盛清凯.金针菇菌渣日粮对肉牛生产性能的影响[J].中国草食动物,2011,31(5):32–34.

[9] 盛清凯,宫志远,陶海英.金针菇菌渣在肉羊育肥中的应用[J].饲料博览,2011(3):1–3.

[10] 林萌萌,郑爱华,刘玉.日粮添加不同比例的菌渣对育肥牛养分表观消化率的影响[J].中国牛业科学,2015,41(1):34–36.

[11] SHEHATA S M,SHIMI S A E,ELKATTAN M H,et al.Integrated waste management for rural development in Egypt[J].Journal of Environmental Science and Health,Part A:Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering,2004,39(2):341–349.

[12] 成娟丽,张福元.新型饲料资源——菌糠饲料的开发应用进展[J].饲料博览,2006(7):35–37.

[13] 潘军,刘博,廉红霞,等.菌糠在饲料中的应用研究[J].家畜生态学报,2010,31(3):88–94.

[14] NRC.Nutrient requirements of goats:angora,dairy,and meat goats in temperate and tropical countries[S].Washington D.C.:National Academy Press,1981.

[15] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007.

[16] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社,1993.

[17] 许贵善,刁其玉,纪守坤,等.不同饲喂水平对肉用绵羊能量与蛋白质消化代谢的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(17):40–44.

[18] 张佩华,王加启,贺建华,等.青贮对饲料稻秸秆 DM 和 NDF 瘤胃降解特性的影响[J].草业科学,2008,25(6):80–84.

[19] JUNG H G,MERTENS D R,PAYNE A J.Correlation of acid detergent lignin and Klason lignin with digestibility of forage dry matter and neutral detergent fiber[J].Journal of Dairy Science,1997,80(8):1622–1628.

[20] 张石蕊,易学武,贺喜,等.不同精粗比全混合日粮饲养技术对南方奶牛采食行为、产奶性能和血清游离氨基酸的影响[J].草业学报,2008,17(3):23–30.

[21] 楼灿,姜成钢,马涛,等.饲养水平对肉用绵羊妊娠期消化代谢的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):134–143.

[22] 潘军,傅彤,付春丽,等.菌糠在反刍动物日粮中的应用[J].江苏农业科学,2011,39(2):323–325.

[23] 王丽.日粮白酒糟水平对山羊生产性能和营养物质表观消化率影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2014.

[24] DURAND M,KAWASHIMA R.Influence of minerals in rumen microbial digestion[M]//RUCKEBUSCH Y,THIVEND P.Digestive physiology and metabolism in ruminants.Netherlands:Springer,1980.

[25] 赵天章,李慧英,闫素梅.反刍动物饲料纤维物质瘤胃降解规律研究进展[J].饲料工业,2010,31(7):28–31

[26] DURAND M,KOMISARCZUK S.Influence of major minerals on rumen microbiota[J].The Journal of Nutrition,1988,118(2):249–260.

[27] 印遇龙.猪氨基酸营养与代谢[M].北京:科学出版社,2008.

[28] 郑琛.不同处理饲粮及不同组合全饲粮颗粒料对绵羊瘤胃内环境和养分消化代谢的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2004.

[29] 郭艳丽,郝正里,曹致中,等.不同生育期和不同品种苜蓿的果胶含量及与其他营养素的相

互关系[J].草业学报,2006,15(2):74–78.

[30] 赫英飞.不同粗饲料配比对奶牛消化代谢和生产性能的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2007.

Effects of *Enoki mushroom* Residues on Dietary Nutrient Apparent Digestibility and Nitrogen Balance of Goats

MENG Meijuan GAO Liping BAI Yunfeng* LIU Ping YAN Shaohua SONG Qian

(*Animal Science Base of Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing* 210014, *China*)

Abstract: This study was aimed to investigate the effects of *Enoki mushroom* residues on dietary nutrient apparent digestibility and nitrogen balance of goats. Four healthy goats (Boer goats *Xuhuai* goats) with an average body weight of （22.5±0.6） kg were used in a 4 × 4 Latin square design. The addition proportion of *Enoki mushroom* residues in diets was 0 （control）, 15%, 25% and 40%, respectively, which was to substitute straw, and four diets had similar nutrient levels; The experiment included four stages with 15 d per stage (10 d for preliminary trial and 5 d for formal trial). The results showed as follows: 1) compared with control group, dietary addition of *Enoki mushroom* residues at 15%, 25% and 40% had no significant effects on apparent digestibility of Ca and P (P>0.05), but could significantly increase apparent digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and gross energy (P<0.05), which reduced gradually with the proportion of *Enoki mushroom* residues increased. 2) Compared with control group, dietary addition of *Enoki mushroom* residues at 15%, 25% and 40% could significantly increase nitrogen retention rate and nitrogen biological value (P<0.05), reduced gradually with the proportion of *Enoki mushroom* residues increased. It is concluded that dietary addition of *Enoki mushroom* residues can increase nutrient digestibility of goats; the optimum proportion in diet for goats was 15% to 25%.

Key words: goat; *Enoki mushroom* residue; digestion; metabolism

*Corresponding author, professor, E-mail: blinkeye@126.com （责任编辑 王智航）